

TOMASZ P. OLEJNIK
TADEUSZ GLUBA
ANDRZEJ OBRANIAK

Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, Łódź

Kinetyka mielenia kwarcytu przy kaskadowym ruchu złoża nadawy

Wprowadzenie

Proces rozdrabniania w młynach kulowych zachodzi pod wpływem złożonego charakteru oddziaływania mielników na nadawę. Stosowane w praktyce prędkości obrotowe młynów kulowych zależą od średnicy walczaka, rodzaju wykładziny, stopnia napełnienia młyna i wielkości mielników. Przy wypełnieniu komory młyna mielnikami oraz rozdrabnianym surowcem następuje okresowe wznoszenie się i obsuwanie nadawy. Przy odpowiednim doborze parametrów procesowych istnieje minimalna prędkość kątowna, przy której wsad zostaje zabrany. Poniżej tej prędkości mielniki staczają się i nie są zabierane przez mielony surowiec [1]. Rozdrabniany materiał znajdujący się pomiędzy poruszającymi się względem siebie powierzchniami kul poddawany jest głównie ścieraniu i ścinaniu. Dodatkowo zachodzi możliwość udziału mechanizmu zgniatania [2, 3]. Wymienione mechanizmy rozdrabniania występują dla lawinowego ruchu mielników. Przy kaskadowym ruchu kul, ze względu na spadek kul na złożę, występuje mechanizm udarowy. Istotny udział udarowego oddziaływania mielników występuje dla częstości obrotowych młyna zbliżonych do częstości krytycznej. Ze względu na gabaryty młynów kulowych i ich masy, siły bezwładności ograniczają pracę młyna z prędkościami zbliżonymi do częstości krytycznej. Decydując się na zmniejszenie częstości obrotowej młyna można zmieniać udział poszczególnych mechanizmów rozdrabniania poprzez odpowiedni dobór wielkości i liczby mielników. Jednocześnie zmiana wymiaru mielników może powodować zmianę charakteru ich ruchu wewnątrz komory młyna [5]. Głównym celem badań było zbadanie ruchu złoża nadawy i mielników oraz uzyskanych w tych warunkach szybkości przemiału mielonego surowca. Wyniki badań pozwolą na optymalny dobór parametrów mielenia uwzględniający minimalizację nakładów energetycznych przemiału.

Parametry procesowe przemiału

Badania szybkości przemiału na sucho prowadzono dla młyna półtechnicznego działającego w trybie okresowym. Średnica wewnętrzna młyna wynosiła 0,5 m, przy całkowitej pojemności 0,118 m³. Przemiał prowadzono dla kwarcytu, mieląc każdorazowo nadawę o masie 45 kg. Do przemiału użyto surowców o uziarnieniu 5÷8 mm. Średnia gęstość nasypowa wynosiła 1267 kg/m³. Wypełnienie młyna mielnikami wraz z nadawą przyjęto na poziomie 30% pojemności całkowitej młyna. W trakcie przemiałów zmieniano skład mielników: ich średnice oraz masy poszczególnych frakcji kul, zachowując stałą całkowitą masę kul wynoszącą 41 kg (Tabl. 1).

Tablica 1
Wymiary oraz całkowita masa kul użytych do badań

Seria	A	B	C	D
Srednica kul, [mm]	Masa kul, [kg]			
10	-	6	1	-
20	-	12,5	12,5	11
30	-	12,5	12,5	15
40	-	10	15	15
60	40	-	-	-

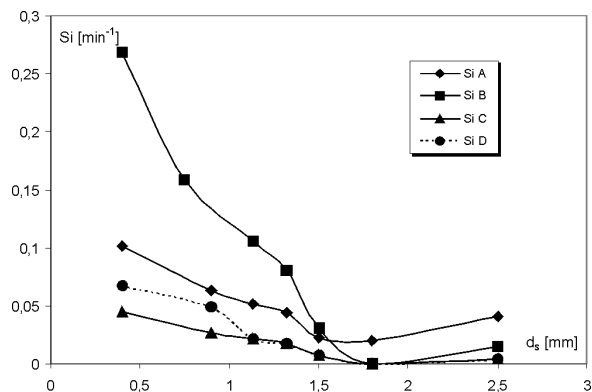
Dla rozróżnienia przemiałów w zależności od składu kul, każdemu z nich nadano oznaczenie A (kule stalowe), oraz B, C i D (kule albitowe). W czasie prób mielenia co 30 minut zatrzymywano młyn, pobierając do analizy granulometrycznej próbkę o masie ok. 0,6 kg. Próbkę poddawano analizie składu ziarnowego za pomocą zestawu sit oraz z użyciem laserowego analizatora wielkości ziarn ANALYSETTE 22. Podczas procesu rozdrabniania obserwowano charakter ruchu nadawy. Charakter ruchu złoża badano za pomocą kamery. Młyn rozpędzono do osiągnięcia wymaganej prędkości obrotowej równej 0,57 s⁻¹, równej 0,54 prędkości krytycznej, analizując charakter ruchu nadawy. Obserwacja ruchu nadawy przy zwiększaniu prędkości obrotowej młyna wykazała, iż poniżej 0,17 s⁻¹ występuje lawinowy ruch złoża. Zwiększanie prędkości powyżej wspomnianej wartości, aż do uzyskania nominalnej prędkości obrotowej przemiału wynoszącej 0,57 s⁻¹, wywoływało kaskadowy ruch złoża. Dla pozostałych składów kul stwierdzono zbliżone wartości prędkości obrotowej, przy której zmienia się charakter ruchu złoża. Z tego względu przyjęto założenie, iż dla zalecanej prędkości obrotowej młyna, nadawa porusza się ruchem kaskadowym.

Dyskusja wyników

Analizując zachowanie się złoża w bębnie młyna należy założyć, iż w momencie kontaktu mielników z nadawą przeważa udarowe ich oddziaływanie na ziarna mielonego surowca. W związku z tym o szybkości rozdrabniania może decydować wytrzymałość ziarn na siły normalne. Z tych powodów wykonano badania wytrzymałościowe mielonego materiału i na ich podstawie obliczono niszczące naprężenia ściskające dla ziarn z poszczególnych przedziałów rozmiarowych. Przykładowe wyniki zestawiono w tablicy 2. Obliczono szybkości rozdrabniania poszczególnych frakcji rozmiarowych za pomocą równania *Gardnera* i *Austina*, dla dyskretnej wartości udziałów.

$$\frac{\Delta w_i(t)}{\Delta T} = -S_i w_i(t) + \sum_{j=1, i>1}^{i-1} S_j b_{i,j} w_j(t) \quad (1)$$

Do obliczeń wykorzystano program obliczeniowy opracowany w *Katedrze Aparatury Procesowej, Politechniki Łódzkiej*. Analizując wyniki badań wytrzymałościowych zestawionych w tablicy 2 widzimy, że dla poszczególnych frakcji rozmiarowych ziarn następuje zmniejszanie się wartości normalnych sił niszczących wraz ze zmniejszaniem się wymiaru ziarna, co jest zrozumiałe. Jednak naprężenia niszczące są tego samego rzędu dla ziarn o wymiarach od 0,8 do 3 mm, natomiast znacznie wyższe (o ok. 50%) dla ziarn mniejszych (poniżej 0,8 mm). Wyniki szybkości rozdrabniania ziaren, z poszczególnych przedziałów rozmiarowych przedstawione na rys. 1 wskazują, iż rozdrabnianie ziarn o wymiarach powyżej 1,5 mm występuje praktycznie tylko w próbie z zastosowaniem dużych i ciężkich mielników (zestaw A). Należy sądzić, że dominującym mechanizmem jest w tym przypadku mechanizm udarowego zgniatania, skuteczny dlatego, że energia zderzeń ciężkich kul jest dostatecznie duża dla wywołania w ziarnie naprężeń niszczących. Ścieranie ziaren dużych powoduje powstawanie frakcji najdrobniejszej, ale nie musi powodować przechodzenia niszczącego ziarna do frakcji ziaren drobniejszych. Dopiero dłuższe w czasie ścieranie może zmniejszyć wymiar ziarna dużego na tyle, aby przeszło ono do sąsiedniego przedziału rozmiarowego. Oczywiście ten mechanizm ścierania występuje w przypadku wszystkich zestawów mielników, ale po pierwsze – jego efekt jest większy dla większej



Rys. 1. Szybkości rozdrabniania ziarn kwarcytu z różnych przedziałów rozmiarowych przy zastosowaniu różnego rodzaju mielników

liczby mielników (większej liczby punktów kontaktu między kulami), a po drugie – w przypadku małych ziarn mocniej wpływa na szybkość ścierania ziaren danej danej frakcji, niż przy dużych ziarnach.

Ten mechanizm jest również skuteczny dla ziaren o mniejszych wymiarach, bowiem krzywe dla tego zestawu mielników pokazane na rys. 1, leżą powyżej krzywych dla zestawu C i D mielników. Jedynie dla zestawu B, uzyskano wyższe prędkości rozdrabniania dla ziaren o wymiarach mniejszych od 1,5 mm. Zestaw B mielników zawiera bowiem dużą ich liczbę, co skutkuje dużą liczbą kontaktów pomiędzy kulami. Intensyfikuje to na tyle znacząco mechanizm ścierania, że dla ziaren małych, szybkości ich rozdrabniania są tak duże.

Tablica 2

Zestawienie danych wytrzymałościowych ziarn kwarcytu

Średnica ziarna, [mm]	Średnia powierzchnia, [mm²]	Średnie wartości max. normalnych sił niszczących, [N]	Średnie, max. naprężenia niszczące, [MPa]	
3÷2	19,625	244,1	12,44	
		80,4	4,099	Sd
		32,95	32,95	CofofVar
2÷1,6	10,174	144,8	14,24	
		50,04	4,198	Sd
		34,55	34,55	CofofVar
1,6÷1,4	7,065	94,62	13,39	
		29,75	4,121	Sd
		31,45	31,45	CofofVar
1,4÷1,25	5,513	60,71	11,01	
		16,44	2,981	Sd
		27,08	27,08	CofofVar
1,25÷1,0	3,974	45,49	11,45	
		14,44	3,633	Sd
		31,74	31,74	CofofVar
1,0÷0,8	2,384	34,46	13,55	
		9,9	3,893	Sd
		28,73	28,73	CofofVar
0,8÷0,5	1,327	26,39	19,88	
		8,624	6,499	Sd
		32,68	32,69	CofofVar

Sd – odchylenie standardowe; CofofVar – współczynnik zmienności

Wnioski

1. Szybkość rozdrabniania dużych ziarn zależy od energii jaką mają mielniki w momencie uderzenia o powierzchnię ziarna, a decydujący jest tutaj mechanizm udarowego ściskania.
2. Na szybkość rozdrabniania ziarn małych istotny wpływ może mieć mechanizm ścierania, a więc liczba mielników (liczba punktów kontaktu między nimi).

Oznaczenia

- $b_{i,j}$ – funkcja rozkładu ziarnowego,
- d_i, d_j – średnice ziarn w przedziałach rozmiarowych i i j ,
- d_{si} – średni (arytmetyczny) wymiar ziaren w przedziale rozmiarowym i ,
- S_i, S_j – szybkość właściwa rozdrabniania ziaren z przedziału i lub j ,
- $w_i(t), w_j(t)$ – udział wagi frakcji ziaren i lub j po czasie mielenia t .

LITERATURA

1. Z. Drzymala i in.: Badania i podstawy konstrukcji młynów specjalnych, Warszawa, PWN, 1992.
2. H. Blumenauer, G. Pusch: Technische Bruchmechanik, Leipzig, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1981.
3. A.J. Lynch: Mineral crushing and grinding circuits, New York, Oxford, 1974.
4. P.H. Shipway, I.M. Hutchings: Phil. Magaz. A, **67**, 1389 (1993).
5. T.P. Olejnik: Physicochemical Problems of Mineral Processing **40**, 247 (2006).

Badania prowadzono w ramach projektu badawczego N N208 0773 33 w latach 2007-2010.